

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-107541

(43)Date of publication of application : 09.04.2003

(51)Int.Cl.

G02F 1/35
G02F 1/365

(21)Application number : 2001-301952

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 28.09.2001

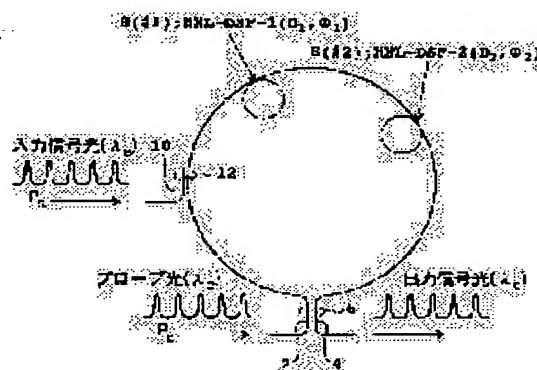
(72)Inventor : WATANABE SHIGEKI

(54) METHOD, DEVICE AND SYSTEM FOR SHAPING WAVEFORM OF SIGNAL LIGHT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method, etc., for obtaining a sufficient 3R function as to a method and a device for shaping the waveform of signal light.

SOLUTION: The method comprises a step for providing a nonlinear optical loop mirror equipped with a 1st optical coupler including 1st and 2nd directionally coupled optical paths, a loop optical path including 1st and 2nd fibers which have different characteristics and connect the 1st and 2nd optical paths, and a 2nd optical coupler including a 3rd optical path directionally coupled with the loop optical path and a step for supplying probe light and input signal light from the 1st and 3rd optical paths and outputting output signal light from the 2nd optical path.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開 2003-107541

(P 2003-107541A)

(43)公開日 平成15年4月9日(2003.4.9)

(51)Int. Cl.⁷

G 0 2 F 1/35
1/365

識別記号

F I

G 0 2 F 1/35
1/365

テーム(参考)

2K002

審査請求 未請求 請求項の数5

O L

(全13頁)

(21)出願番号 特願2001-301952(P2001-301952)

(22)出願日 平成13年9月28日(2001.9.28)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72)発明者 渡辺 茂樹

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(74)代理人 100075384

弁理士 松本 昂

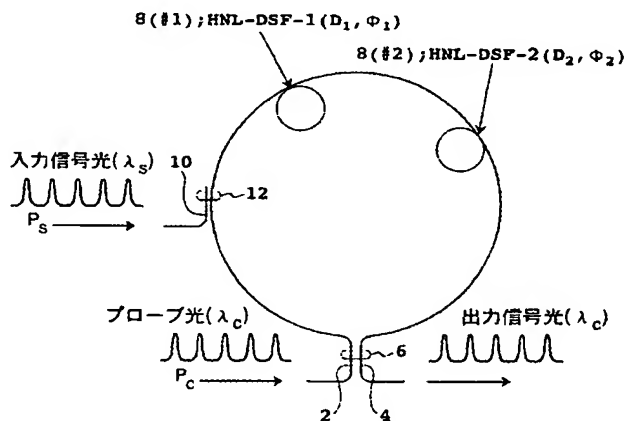
Fターム(参考) 2K002 AA02 AB12 AB40 CA13 CA15
DA10 DA11 HA31

(54)【発明の名称】 信号光を波形整形するための方法、装置及びシステム

(57)【要約】

【課題】 信号光の波形整形のための方法及び装置に関し、十分な3R機能を得られるような方法等の提供が主な課題である。

【解決手段】 方向性結合される第1及び第2の光路を含む第1の光カプラと、異なる特性を有し前記第1及び第2の光路を接続する第1及び第2のファイバを含むループ光路と、前記ループ光路に方向性結合される第3の光路を含む第2の光カプラとを備えた非線形光ループミラーを提供するステップと、前記第1及び第3の光路からそれぞれプローブ光及び入力信号光を供給して前記第2の光路から出力信号光を出力するステップとから構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 方向性結合される第1及び第2の光路を含む第1の光カプラと、異なる特性を有し前記第1及び第2の光路を接続する第1及び第2のファイバを含むループ光路と、前記ループ光路に方向性結合される第3の光路を含む第2の光カプラとを備えた非線形光ループミラーを提供するステップと、
前記第1及び第3の光路からそれぞれプローブ光及び入力信号光を供給して前記第2の光路から出力信号光を出力するステップとを備えた方法。

【請求項2】 方向性結合される第1及び第2の光路を含む第1の光カプラと、異なる特性を有し前記第1及び第2の光路を接続する第1及び第2のファイバを含むループ光路と、前記ループ光路に方向性結合される第3の光路を含む第2の光カプラとを備え、
前記第1及び第3の光路からそれぞれプローブ光及び入力信号光が供給されて、前記第2の光路から出力信号光が出力される装置。

【請求項3】 信号光を伝搬させる第1の光ファイバ伝送路と、
前記第1の光ファイバ伝送路に接続され前記信号光を変換光に変換する非線形光ループミラーと、
前記非線形光ループミラーに接続され前記変換光を伝搬させる第2の光ファイバ伝送路とを備えたシステムであって、
上記非線形光ループミラーは、
方向性結合される第1及び第2の光路を含む第1の光カプラと、異なる特性を有し前記第1及び第2の光路を接続する第1及び第2のファイバを含むループ光路と、前記ループ光路に方向性結合される第3の光路を含む第2の光カプラとを備えており、
前記第1及び第3の光路からそれぞれプローブ光及び前記信号光が供給されて、前記第2の光路から前記変換光が出力されるシステム。

【請求項4】 前記入力信号光及び前記出力信号光の少なくとも一方を非線形光学媒質に供給してチャープを発生させるステップと、
前記チャープにより拡がったスペクトルから中心波長と異なる成分を抽出するステップとを更に備えた請求項1記載の方法。

【請求項5】 前記抽出するステップで抽出された光の波長が前記入力信号光の波長に一致するように設定された透過帯域を有する光帯域通過フィルタを提供するステップを更に備えた請求項4記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、信号光を波形整形するための方法、装置及びシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】光レベルで波形整形を行う従来の波形整

形装置として、マッハツェンダ干渉計(MZI)型光ゲートがある。この光ゲートは、位相シフトを与えるための第1及び第2の非線形光学媒質を含むマッハツェンダ干渉計を例えば光導波路基板上に集積化して構成される。連続波(CW)光としてのプローブ光が等分配されて第1及び第2の非線形光学媒質に供給される。このとき、等分配されたプローブ光の干渉により出力光が得られないように干渉計の光路長が設定されている。

【0003】第1及び第2の非線形光学媒質の一方には更に光信号が供給される。光信号及びプローブ光のパワーを適切に設定することによって、光信号に同期する変換光信号がこの光ゲートから出力される。変換光信号はプローブ光と同じ波長を有している。

【0004】第1及び第2の非線形光学媒質の各々として半導体光アンプ(SOA)を用いることが提案されている。例えば、波長1.5 μ m帯において、両端面を無反射化処理したInGaAs-SOAを各非線形光学媒質として用い、これらをInP/GaInAsP基板上に集積化したものが作製されている。

【0005】従来知られている他の波形整形装置として、非線形光ループミラー(NOLM)がある。NOLMは、方向性結合される第1及び第2の光路を含む第1の光カプラと、第1及び第2の光路を接続するループ光路と、ループ光路に方向性結合される第3の光路を含む第2の光カプラとを備えている。

【0006】ループ光路の一部または全体を非線形光学媒質から構成するとともに、第1及び第3の光路にそれぞれプローブ光及び光信号を供給することによって、変換光信号が第2の光路から出力される。

【0007】NOLMにおける非線形光学媒質としては光ファイバが一般的である。特に、非線形光学媒質としてSOAを用いたNOLMはSLALOM(Semiconductor Laser Amplifier in a Loop Mirror)と称される。

【0008】ところで、近年実用化されている光ファイバ通信システムにおいては、伝送路損失や分岐損失等による信号パワーの低下を、エルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)等の光増幅器を用いて補償している。光増幅器はアナログ増幅器であり、信号を線形増幅するものである。この種の光増幅器においては、増幅に伴って発生する自然放出光(ASE)雑音の付加により信号対雑音比(S/N比)が低下するので、中継数ひいては伝送距離に限界が生じる。また、光ファイバの持つ波長分散やファイバ内の非線形光学効果による波形劣化も伝送限界を与える要因である。こうした限界を打破するためには、信号をデジタル的に処理する再生中継器が必要であり、その実現が望まれている。特に、全ての処理を光レベルにおいて行う全光再生中継器は、信号のビットレートやパルス形状等に依存しないトランスペアレントな動作を実現する上で重要である。

【0009】全光再生中継器に必要な機能は、振幅再生

又はリアンプリフィケーション (Reamplification) と、波形整形又はリシェイピング (Reshaping) と、タイミング再生又はリタイミング (Retiming) とである。これらの機能は3R機能と称され、特に前二者は2R機能と称される。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】波形整形装置と光増幅器を組み合わせることにより、あるいは光増幅機能を有する波形整形装置を用いることにより、2R機能を提供することができる。また、それに加えてクロック再生器を並行して用いることにより3R機能を提供することができる。

【0011】我々は、先に2R機能及び／又は3R機能を提供するための波形整形装置を提案した (特願平11-293189号)。この装置においては、2つのNOLMを組み合わせることによって、波形整形或いは光ゲートの機能を得る場合における波長変換の自由度を大きくしている。

【0012】特に、2R機能及び／又は3R機能を提供するための波形整形装置においては、クロック再生器でクロックパルスを抽出するものとなる光信号の劣化度合いに応じて、十分な3R機能を得ることができない場合があるという問題がある。

【0013】一方、伝送容量を飛躍的に拡大するために波長分割多重 (WDM) を適用する場合、2R機能及び／又は3R機能を提供するための波形整形装置が多重数に応じて複雑化することが予想されるので、WDMに適した波形整形装置が求められている。

【0014】よって、本発明の目的は、十分な2R機能及び／又は3R機能を得ることができる波形整形のための方法、装置及びシステムを提供することである。

【0015】本発明の他の目的は、WDMに適した波形整形のための方法、装置及びシステムを提供することである。

【0016】本発明の更に他の目的は以下の説明から明らかになる。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明によると、方向性結合される第1及び第2の光路を含む第1の光カプラと、異なる特性を有し前記第1及び第2の光路を接続する第1及び第2のファイバを含むループ光路と、前記ループ光路に方向性結合される第3の光路を含む第2の光カプラとを備えた非線形光ループミラーを提供するステップと、前記第1及び第3の光路からそれぞれプローブ光及び入力信号光を供給して前記第2の光路から出力信号光を出力するステップとを備えた方法が提供される。

【0018】本発明の他の側面によると、方向性結合される第1及び第2の光路を含む第1の光カプラと、異なる特性を有し前記第1及び第2の光路を接続する第1及び第2のファイバを含むループ光路と、前記ループ光路

に方向性結合される第3の光路を含む第2の光カプラとを備え、前記第1及び第3の光路からそれぞれプローブ光及び入力信号光が供給されて、前記第2の光路から出力信号光が出力される装置が提供される。

【0019】本発明の更に他の側面によると、信号光を伝搬させる第1の光ファイバ伝送路と、前記第1の光ファイバ伝送路に接続され前記信号光を変換光に変換する非線形光ループミラーと、前記非線形光ループミラーに接続され前記変換光を伝搬させる第2の光ファイバ伝送路とを備えたシステムが提供される。非線形光ループミラーは、本発明の装置によって提供される。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して、本発明の望ましい実施形態を詳細に説明する。全図を通して実質的に同一又は類似の部分には同一の符号が付されている。

【0021】図1を参照すると、本発明に適用可能なNOLM (非線形光ループミラー) の構成が示されている。このNOLMは、方向性結合される第1及び第2の光路2及び4を含む第1の光カプラ6と、第1及び第2の光路2及び4を接続するループ光路8と、ループ光路8に方向性結合される第3の光路10を含む第2の光カプラ12とを備えている。

【0022】ループ光路8の一部または全部は非線形光学媒質NLによって提供されている。第1の光カプラ6のカップリング比は実質的に1:1に設定される。

【0023】このNOLMの動作を簡単に説明すると、波長 λ_c を有するプローブ光が光カプラ6の第1の光路2に入力され、波長 λ_s を有する光信号が光カプラ12の第3の光路10に入力されたときに、波長 λ_c を有する変換光信号が光カプラ6の第2の光路4から出力されるというものである。プローブ光は連続波 (CW) 光或いは光パルスであり得る。ここでは、プローブ光はCW光として図示されている。

【0024】プローブ光は、光カプラ6によりパワーが等しい2成分に分けられ、これら2成分は、ループ光路8をそれぞれ時計回り及び反時計回りに厳密に同一光路長で伝搬し、非線形光学媒質NLにより共に等しい位相シフト ϕ を受けた後、光カプラ6により合成される。光カプラ6における合成に際して、2成分のパワーは等しく位相も一致しているので、合成により得られた光はあたかもミラーにより反射されるがごとく第1の光路2から出力され、ポート4からは出力されない。

【0025】ループ光路8の途中から光カプラ12により光信号が入力されると、この光信号はループ光路8の一方 (図では時計回り) にだけ伝搬し、この方向に伝搬する光に対しては、オンパルスが通るときだけ非線形光学媒質NLの非線形屈折率が変化する。従って、プローブ光の2成分が光カプラ6で合成されるに際して、光信号のオフパルスと同期した部分のプローブ光の2成分

10

20

30

40

50

の位相は一致するが、光信号のオンパルスと同期した部分のプロープ光の2成分の位相は異なる。その位相差を $\Delta\phi$ とすると、光カプラ6の第2の光路4には $\{1 - \cos(\Delta\phi)\} / 2$ に比例する出力が得られる。

【0026】今、位相差が π になるように入力光信号のパワーを設定すれば、オンパルスのときに合成された2成分が第2の光路4だけから出力されるようなスイッチ動作が可能になる。このようにして、波長 λ_s の光信号から波長 λ_c の変換光信号への変換が行なわれる。即ち、光信号のデータに関して波長変換が行なわれていることになる。

【0027】非線形光学効果として光カー効果（光信号とプロープ光による相互位相変調（XPM））を用いるとすると、位相シフト $\Delta\phi$ は γPL に比例する。ここに γ は非線形光学媒質NLの非線形係数、Pは非線形光学媒質NL内における光パワー、Lは非線形光学媒質NLにおける光カー効果の相互作用長である。

【0028】図2は位相差 $\Delta\phi$ に対するNOLMの出力特性を示すグラフである。グラフの主要部分における縦軸はポート4から出力される変換光信号のパワー P_{out} 、横軸は位相差 $\Delta\phi$ を示している。符号14で示されるコサインカーブにおいて、極小値を与える位相差 $\Delta\phi$ は0に相当し、極大値を与える $\Delta\phi$ は π に相当している。従って、位相差 $\Delta\phi$ の0及び π にそれぞれ入力光信号の“0”レベル（Pspace）及び“1”レベル（Pmark）を対応させることにより入力光信号に付随する雑音の抑圧が可能である。これは、 $\{1 - \cos(\Delta\phi)\} / 2$ に従う変換においては、線形増幅変換の場合と異なりパルスの立ち上がり及びピーク付近での過飽和特性があるからである。

【0029】NOLMにおける非線形光学媒質NLとして最も一般的なのは光ファイバである。分散シフトファイバ（DSF）が主に用いられており、その長さは通常数kmである。一方、非線形光学媒質NLとしてSOA（半導体光増幅器）を用いたものも提案されている（SLALOM）。

【0030】SOAタイプは小型集積化の点で優れてい*

$$\gamma = \omega n_2 / c A_{eff}$$

で表される。ここに、 ω は光角周波数、 c は真空中の光速を表し、 n_2 及び A_{eff} は光ファイバの非線形屈折率及び有効コア断面積をそれぞれ表す。

【0036】従来のDSFの非線形係数は $\gamma = 2.6 W^{-1} km^{-1}$ 程度と小さいので、十分な変換効率を得るためには数km～10km以上の長さが必要である。より短尺のDSFで十分な変換効率を実現することができるとすれば、零分散波長を高精度に管理することが可能となり、高速・広帯域変換を実現することができる。

【0037】一般に、光ファイバの3次非線形効果を高めるためには、(1)式において非線形屈折率 n_2 を大きくし、あるいは有効コア断面積 A_{eff} に対応するモー

*る。しかし、SOAから付加される自然放光（ASE）雑音の影響により変換の際に信号対雑音（S/N）比が低下したり、キャリア効果に起因する速度制限等の課題がある。

【0031】一方、ファイバタイプのNOLMでは、ファイバ内の3次非線形光学効果の応答時間がフェムト秒オーダーと非常に高速であるが、長いファイバを必要とするので、速度制限をなくすためには高精度の分散管理が必要になる。また、入力光信号の偏波状態に対する依存性やループ内での偏波変動に対する対策が難しいといった課題もある。

【0032】発明者は、特願平10-176316号（平成10年6月23日出願）において、高非線形分散シフトファイバ（HNLSF）を用いたコンパクトなNOLMを提案した。本発明は主にこのNOLMを多段に縦列接続（カスケード接続）した構成による高性能な波形整形装置を提供し、これを用いて光2R等の光信号処理を実現せんとするものである。ここで、「2R」はリシェーピング（振幅再生）及びリジェネレーション（波形等化及び雑音抑圧等）の2つの機能を意味している。

【0033】光通信システムにおける光信号処理に適用可能な非線形光学効果としては、主に、2次非線形光学媒質中の三光波混合あるいは、3次非線形光学媒質中の自己位相変調（SPM）、相互位相変調（XPM）及び四光波混合（FWM）等の光カー効果が考えられる。2次非線形光学媒質としては、InGaAs及びLiNbO₃等がある。3次非線形光学媒質としては、半導体光アンプ（SOA）及び発振状態にある分布帰還レーザダイオード（DFB-LD）等の半導体媒質あるいは光ファイバが考えられる。

【0034】本発明では、特に光ファイバ内の光カー効果を用いることができる。光ファイバとしては単一モードファイバが適しており、特に波長分散が比較的小さい分散シフトファイバ（DSF）が望ましい。

【0035】一般に、光ファイバの3次非線形係数 γ は、

$$\dots\dots (1)$$

ドフィールド径（MFD）を小さくして光強度を高くするのが有効である。

【0038】非線形屈折率 n_2 を大きくするためには、例えば、クラッドにフッ素等をドーピングあるいはコアに高濃度のGeO₂をドーピングすればよい。コアにGeO₂を25～30mol%ドーピングすることによって、非線形屈折率 n_2 として $5 \times 10^{-20} m^2/W$ 以上の大きな値が得られている（通常のシリカファイバでは約 $3.2 \times 10^{-20} m^2/W$ ）。

【0039】一方、MFDを小さくすることは、コア及びクラッド間の屈折率差 Δ あるいはコア形状の設計により可能である。このようなDSFの設計は分散補償フ

ファイバ(DCF)の場合と同様である。例えば、コアに GeO_2 を25~30mol%ドープし、且つ、比屈折率差 Δ を2.5~3.0%に設定することによって、4 μm よりも小さなMFDが得られている。そして、非線形屈折率 n_2 を大きくすることとMFDを小さくすることとの総合効果として、 $15\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ 以上の大きな非線形係数 γ を有する光ファイバ(HNL-DSF)が得られている。

【0040】他に重要な要素として、上述のように大きな非線形係数 γ を有するHNL-DSFが、用いる波長帯で零分散を持つことである。この点に関しても各パラメータを以下のように設定することにより満足することができる。通常のDCFにおいては、一般にMFDを一定にした条件で比屈折率差 Δ を大きくすると、分散値は正常分散領域で大きくなる。一方、コア径を大きくすると分散は減少し、逆にコア径を小さくすると分散は大きくなる。従って、用いる波長帯においてMFDをある値に設定した状態で、コア径を大きくしていくと分散を0とすることが可能である。

【0041】尚、最近、多芯ファイバ状に形成したプリフォームから作製される所謂フォトニック結晶ファイバあるいはホリーファイバ(Holly Fiber)と呼ばれる単一モードファイバに関する研究及び開発が進んでいる。この種のファイバによると、より小さなMFD(モードフィールド直径)を実現可能であり、こうしたファイバも本発明に適用可能である。以下、このようなフォトニック結晶ファイバ等も含めて、通常の光ファイバよりも大きな非線形効果を呈する光ファイバをHNL-DSFと称することにする。

【0042】長さLの光ファイバ中での光カー効果による位相シフトは、 $\gamma P_{\text{eff}} L$ に比例する。ここに、 P_{eff} は平均ポンプ光パワーである。従って、非線形係数 γ が $15\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ のファイバは通常のDSFに比べて2.6/15 \approx 1/5.7程度の長さで同じ変換効率を達成可能である。上述のように通常のDSFでは10km程度の長さが必要であるが、このように大きな非線形係数 γ を有するHNL-DSFにあつては、1~2km程度の長さで同様の効果が得られることになる。実用上は、ファイバが短くなる分損失も小さくなるので、同じ効率を得るために更にファイバを短くすることができる。このように短いファイバにおいては、零分散波長の制御性がよくなり、以下に説明するように極めて広帯域の変換が可能になる。更に、数kmのファイバ長であれば、定偏波化が可能になり偏波面保存能力が確保されているので、HNL-DSFの本発明への適用は、高い変換効率及び広い変換帯域を達成し且つ偏波依存性を排除する上で極めて有効である。

【0043】光ファイバを用いて光カー効果、特にXPMを有効に発生させて、光信号から変換光信号への変換効率を高めるためには、プローブ光と光信号との間の位

相整合をとる必要がある。図3によりこれを説明する。

【0044】図3はNOLMにおける位相整合の説明図である。ここでは、光路2に供給される波長 λ_c のプローブ光及び光路10に供給される波長 λ_s の光信号の各々が光パルスであると仮定する。プローブ光としての光パルスは、光カプラ6においてループ光路8を時計回りに伝搬する第1プローブパルスと反時計回りに伝搬する第2プローブパルスとに分岐される。また、光信号としての光パルスは、光カプラ12を通して信号パルスとしてループ光路8内に時計回りに導入される。

【0045】ループ光路8における位相整合条件は、ループ光路8内を共に時計回りに伝搬する信号パルス及び第1プローブパルスのタイミングの一致性により与えられる。もし、信号パルス及び第1プローブパルスのタイミングが一致しない場合には、XPMによる光カーシフトが制限され、有効なスイッチ動作あるいはゲート動作が困難になる。

【0046】信号パルス及び第1プローブパルスの波長は異なるので、ループ光路8における信号パルス及び第1プローブパルスの群速度は異なり、結果としてループ光路8の長さに比例するタイミングずれが生じる(ウォークオフ)。これを回避するためには、信号パルス及び第1プローブパルスの群速度が一致するような波長配置を選択することが望ましい。

【0047】タイミングずれを最小限に抑えるための最も有効な波長配置は、信号パルスの波長及び第1プローブパルスの波長をループ光路8の零分散波長に対して実質的に対称に位置させることにより得られる。零分散波長に近い広い帯域に渡って、波長分散はほぼ直線的に変化しており、上述の波長配置により信号パルス及び第1プローブパルスの群速度を一致させて、良好な位相整合条件を得ることができる。

【0048】このように、本発明のある側面によると、ループ光路の零分散波長を λ_0 とするときに、 $\lambda_s + \lambda_c = 2\lambda_0$ とすることによって、位相整合条件を得ることができ、光信号から変換光信号への変換効率を高めることができる。

【0049】しかし、このような波長配置をとっても、零分散波長自体がファイバ長手方向に変動していると、群速度間にずれが生じ、これが変換帯域及び変換可能な信号速度に制限を与える。このように、ファイバによる変換帯域は分散により制限されることになる。長手方向の分散が完全に制御され、例えば全長(正確には非線形長)に渡り唯一の零分散波長を有するファイバが作られたとすれば、プローブ光の波長と光信号の波長とをこの零分散波長に関して対称な位置に配置することにより事実上無限大の(分散の波長依存性が直線状である範囲で制限のない程広い)変換帯域が得られることになる。しかし、実際には、零分散波長が長手方向にばらつくため、位相整合条件が理想状態からずれ、これにより帯域

が制限される。

【0050】広帯域化を実現するための第1の方法は、ループ光路8の一部又は全部としてHNL-DSFを用いることである。HNL-DSFを用いた場合には、1～2km程度の長さで十分な変換が可能になるので、分散の制御性がよくなり、広帯域特性を得やすい。その際、特に光カー効果の発生効率が高い入力端付近の零分散波長のばらつきを小さく抑えることができれば、最も効率よく帯域を拡大可能である。更に、ファイバを複数の小区間に分割し、零分散波長が似ている区間同士をス

10

プライス等により繋ぎ合わせていく(当初のファイバ端から数えた順番とは違う順番で)ことにより、全長における平均分散は同じであるにも係わらず、広い変換帯域を得ることができる。

【0051】あるいは又、十分広い変換帯域を得るのに必要な程度に高精度な分散制御が可能な長さ(例えば数100m以下)のファイバを予め多数用意しておき、所要の零分散波長のものを組み合わせてスプライスして、所要の変換効率を得るのに必要な長さのファイバを作ること

20

ことも可能である。

【0052】このようにして変換帯域を拡大する場合には、光強度の高い入力端(例えば非線形光学媒質の両端)付近に零分散波長のばらつきの少ない部分を集めるのが有効である。また、必要に応じて順次分割数を増やしたり、入力端から離れた位置で比較的分散の大きな部分では、分散の正負を交互に配置する等により小区間を適切に組み合わせることによって、更に変換帯域を拡大することができる。

【0053】光ファイバを分割するに際して各区間をどの程度短くすれば十分か否かの目安としては、例えば、非線形長を基準にすればよい。非線形長に比べて十分短いファイバ内での3次非線形効果においては、位相整合はそのファイバの平均分散値に依存すると考えることができる。一例として、非線形係数 γ が $2.6\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ のファイバで30mW程度のポンプ光パワーを用いた3次非線形効果においては、非線形長は12.8km程度になるから、その1/10程度、即ち1km程度が1つの目安となる。他の例としては、非線形係数 γ が $15\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ のファイバで30mW程度のポンプ光パワーを用いた3次非線形効果においては、非線形長は2.2km程度になるから、その1/10程度、即ち200mが1つの目安となろう。いずれにしても、非線形長に比べて十分短いファイバの平均零分散波長を測定し、ほぼ同じ値のものを組み合わせて所要の変換効率のファイバを構成すれば、広い変換帯域を得ることができる。

30

【0054】このようなファイバによるFWMの帯域を拡大する方法に関する付加的な詳細については、特願平10-176316号を参照されたい。

【0055】尚、ポンプ光、信号光あるいは変換光のパワーがファイバ内の誘導ブリュアン散乱(SBS)のし

50

きい値を超えると、XPM(相互位相変調)の発生効率が低下する。SBSの影響を抑圧するためには、ポンプ光又は信号光について周波数変調又は位相変調を行えばよい。その際の変調速度は数100kHz程度で十分であり、信号光の信号速度がGb/s以上の高速信号である場合には変調による影響は殆ど無い。

【0056】図1に示されたNOLMが動作するためには、プローブ光の偏波状態がループ光路8内で保持される必要がある。すなわち、光カプラ6で分離されたプローブ光は、ループ光路8内を各々時計回り及び反時計回り方向に伝搬した後、同じ偏波状態で光カプラ6に戻って来る必要がある。

【0057】HNL-DSFを用いることによって、偏波状態を保持するのに十分短い長さでループ光路8を構成することができる。例えば、偏波コントローラを用いてループ光路8内における偏波状態を調節することができる。

【0058】尚、光信号の偏波状態は基本的にはプローブ光の偏波状態にほぼ一致させるのがよいが、ファイバ内の偏波分散等にも影響されることがあり、出力される光のパワーが最大になるように両者の偏波状態を最適化するの

のがよい。

【0059】図4の(A)及び(B)を参照すると、信号パルス(信号光)及びプローブパルス(プローブ光)とループ光路8の零分散波長 λ_0 との相対関係の例が示されている。図3に示されるようなNOLMにおいて、パルス幅として数ピコ秒からサブピコ秒程度の短パルスを用いる場合、XPM(クロス位相変調)を効率良く発生させるためには、信号パルスとプローブパルスの時間的なズレ(ウオークオフ)を極力小さくすることが望ましい。

【0060】幅が10ps以上の比較的低速用のパルスであれば、HNL-DSFのように非線形性の高いファイバの場合、比較的短い距離(1km程度)で π 位相シフトが得られるので、図4の(A)に示されるように、各パルスに対するファイバの分散をさほど気にする必要はない。

【0061】しかし、本発明で扱うような短パルスの場合には、わずかな分散の違いによりXPMの発生効率が極端に低下し、結果として非常に高い信号パワーが必要になることがある。

【0062】これを回避するための一つの方法は、図4の(B)に示されるように、信号パルスの波長とプローブパルスの波長を零分散波長 λ_0 に対して対称に配置することである。この場合、信号パルスとプローブパルスの群速度(GVD)はほぼ等しくなるので、最も効率よくXPMを発生させることができる。

【0063】しかしながら、短いとはいえ約1kmの長さのファイバ内での分散は一定ではなく、長手方向に微妙に変化している。また、図4の(B)に示される波長

配置にするとその関係に限定されるので、適用範囲に制限が出てしまう。

【0064】このような問題を回避するために、本発明では分散補償が併用されるのである。例えば後述するように、図6の(A)に示されるように正常分散領域に信号パルス及びプローブパルスが配置されるファイバと、図6の(B)に示されるように異常分散領域に信号パルス及びプローブパルスが配置されるファイバとを組み合わせることにより、ウォークオフを低減して効率的なXPMの発生を可能にするものである。

【0065】図5は本発明による装置の第1実施形態を示す図である。この装置は、方向性結合される第1及び第2の光路2及び4を含む第1の光カプラ6と、第1及び第2の光路2及び4を接続するループ光路8と、ループ光路8に方向性結合される第3の光路10を含む第2の光カプラ12とを備えている。

【0066】第1の光カプラ6のカップリング比は実質的に1:1に設定される。ループ光路8の一部又は全部は非線形光学媒質によって提供される。より特定的には、この実施形態では、広い変換帯域を得ることのほか前述した付加的な効果を得るために、ループ光路8は各々HNL-DSFからなるファイバ8(＃1及び＃2)をスプライス接続することによって提供されている。

【0067】第1の光路2には、波長 λ_c 及びパワー P_c を有するプローブ光が供給される。第3の光路10には波長 λ_s ($\neq \lambda_c$)及びパワー P_s を有する入力信号光が供給される。その結果、NOLMの第2の光路4からは、波長 λ_c を有し且つ入力光信号に同期した出力信号光が出力される。

【0068】プローブ光はCW光であっても良いし、或いは入力光信号のビットレートと同等の或いは異なる周波数で入力光信号と時間的に同期するクロックパルスであっても良い。

【0069】図3に示される実施形態では、ループ光路8としてHNL-DSFが用いられている。HNL-DSFの分散はビットレートやパルス形状等により適宜最適化することができる。例えば、短パルスを用いた高ビットレート信号の場合であれば、2つのパルスのウォークオフ(図2による説明を参照)が発生しないように設定するのが望ましい。一例としては、前述のようにHNL-DSFの零分散波長を信号光波長とプローブ光波長の間付近に配置することが考えられる。この場合、2つのパルスはほぼ同じ群速度になるので、ウォークオフを最小にすることができる。ここで、信号光波長とプローブ光波長のどちらを正常分散領域に配置し他方を異常分散領域に配置するかについては、特性を見た上で適宜最適化することができる。

【0070】或いはまた、零分散波長を2つのパルスよりも長波長側或いは短波長側に設定しても良い。この場合、ウォークオフを最小にすることはできないが、次の

ような利点を得られる。まず、長波長側に設定する場合には、信号光波長及びプローブ光波長は共に正常分散領域にあることになり、変調不安定効果を抑圧することができる。また、短波長側に設定する場合には信号光波長及びプローブ光波長は異常分散領域にあることになり、パルス圧縮効果を用いることができる。どのような配置に設定するかは実際のシステムの条件に応じて決定することができる。

【0071】図5に示される実施形態では、ループ光路8をHNL-DSFから構成している。HNL-DSFにあっては、従来のDSFに比べて3次非線形係数を5~10倍に大きくすることが可能であるため、位相差 $\Delta\phi$ を π とするために必要な光パワーと長さの積を $1/5 \sim 1/10$ にすることが可能である。従って、同じ信号パワーに対する所要長も $1/5 \sim 1/10$ で足り、その結果1kmあるいはそれ以下の長さで十分な特性を得ることができる。その結果、波長分散による信号速度制限が少なくしかも入力光信号の偏波状態に対する依存性を排除することができ、ループ光路8内における偏波変動に対する対策が不要なNOLMの提供が可能になる。

【0072】このように、本発明のある側面によると、各ループ光路8は非線形光学媒質としての光ファイバによって提供される。その光ファイバは、例えば、その光ファイバが偏波面保存能力を有する程度にその光ファイバの長さを短くするのに十分大きな非線形係数を有している。それにより、入力光信号の偏波状態に対する依存性を小さくすることができる。同じ目的のために、ループ光路8を提供する光ファイバとして偏波保持ファイバを用いても良い。

【0073】図5の実施形態において、ファイバ8(＃1及び＃2)の分散はそれぞれ D_1 及び D_2 、XPMによる位相シフトはそれぞれ ϕ_1 及び ϕ_2 である。ここで、 $\phi_1 + \phi_2 = \pi$ となるようにし、且つ、 D_1 及び D_2 が互いに補償されるように設定することにより、ウォークオフの影響が小さくしかもファイバの分散によるパルス形状劣化の影響の少ないNOLMの提供が可能になる。

【0074】例えば図6の(A)及び(B)に示される例では、 D_1 及び D_2 は同符号であり、ファイバ8(＃1及び＃2)のそれぞれの零分散波長 λ_{o1} 及び λ_{o2} が異なる値にされている。即ち、零分散波長 λ_{o1} は信号パルス及びプローブパルスの波長よりも長く設定され、零分散波長 λ_{o2} は信号パルス及びプローブパルスの波長よりも短く設定されている。

【0075】また、図7の(A)及び(B)に示される例では、零分散波長 λ_{o1} 及び λ_{o2} は概ね等しく設定され、 $D_2 = -D_1$ に設定されている。このように分散及び分散傾斜の符号が互いに逆である二つのファイバを組み合わせるループ光路8を得ることによって、信号パルス及びプローブパルスの両方に対してほぼ完全に分散が補償され、ウォークオフとパルス形状の劣化が少ないNO

LMの提供が可能になると共に、極めて効率の良いXPMの発生が可能になる。

【0076】更には、図8に示されるように、ファイバ8（#1及び#2）として、互いに符号が逆で同じ値の分散を有する分散フラットファイバ（DFB）を用いても良い。この場合、信号光とプローブ光の波長配置を任意に設定することができる。

【0077】図9は本発明による装置の第2実施形態を示す図である。ここでは、ループ光路8として、N本のファイバ8（#1、#2、…、#N）を接続して構成している。ファイバ8（#1、#2、…、#N）のそれぞれの分散は D_1, D_2, \dots, D_N であり、XPMによる位相シフトはそれぞれ $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N$ である。 $\phi_1 + \phi_2 + \dots + \phi_N = \pi$ で且つ $D_1 + D_2 + \dots + D_N = 0$ に設定することによって、より高精度の分散補償が可能になり、さらに高速な光パルスの処理が可能になる。

【0078】特に、図15に示されるように、各分散の値を比較的大きくし、符号が反対の大きな分散（+D及び-D）を交互に配置して互いに分散補償することにより、波形の歪み、ウオークオフ、四光波混合等の他の非線形効果の発生等を制限要因を全て防ぐ理想的なNOLMを提供することができる。

【0079】図10は本発明によるシステムの第1実施形態を示すブロック図である。送信機14と本発明の装置によって提供されるNOLM16と受信機18とを光ファイバ伝送路20及び22により接続して構成されている。送信機14からの信号光を光ファイバ伝送路20によりNOLM16に供給し、そこで変換光に変換して、光ファイバ伝送路22により受信機18に伝送する。

【0080】送信機14における光信号の変調方法としては、例えば光振幅（強度）変調が採用される。この場合、受信機18では、例えば直接検波を行うことができる。

【0081】光ファイバ伝送路20及び22の各々としては、単一モードのシリカファイバ、1.3 μm 零分散ファイバ、1.55 μm 分散シフトファイバ等を用いることができる。

【0082】NOLM16非線形光学媒質として用いられるHNL-DSFを単一モード型に構成し、そのモードフィールド径を光ファイバ伝送路20及び22の各々のモードフィールド径よりも小さくすることによって、HNL-DSFの長さを短くするのに十分大きな非線形係数を得ることができる。

【0083】このシステムによると、NOLM16において本発明に従った波形整形の動作が可能になると共に、その動作により、波長変換を伴って或いは波長変換を伴わずに得られた出力光信号を光ファイバ伝送路22により伝送することができる。

【0084】図示はしないが、光ファイバ伝送路20及

び22を含む光路上に単一又は複数の光増幅器が設けられていても良い。各光増幅器としてエルビウムドープファイバ増幅器（EDFA）が用いられている場合、各光増幅器ではASE雑音が発生しこれが累積するので、図10に示されるシステムでは、NOLM16における波形整形或いは雑音抑圧の原理に従って、SNRが改善される。

【0085】この実施形態では、NOLM16を光ファイバ伝送路20及び22の間に設けて中継器として用いているが、受信機18の内部或いはその近傍に本発明による装置を設けることによって、受信感度を改善することができる。

【0086】図示はしないが、図10に示されるシステムは、光ファイバ伝送路20及び22の少なくともいずれか一方の分散を補償するための分散補償器を更に備えていても良い。分散補償器は、例えば、各光ファイバ伝送路の分散と逆符号の分散を与える。分散補償器の分散の絶対値は、例えば、受信機18における受信状態が最適になるように調節される。分散補償器を用いることによって、光ファイバ伝送路で生じる波長分散を抑圧することができるので、長距離の伝送が可能になる。

【0087】図11は本発明によるシステムの第2実施形態を示すブロック図である。このシステムは、光分岐器24、クロック再生器26及び本発明による装置28を備えている。光分岐器24には、ファイバ伝送に際しての分散や非線形光学効果により波形が歪んだ信号光、光アンプによる中継伝送に際しての光アンプのASE雑音の累積により波形が乱れた信号光、或いは偏波分散等によりジッターが累積した信号光が供給される。光分岐器24はその入力信号光を第1及び第2の信号光に分岐する。第1及び第2の信号光はそれぞれクロック再生器26及び本発明による装置28に供給される。クロック再生器26は供給された第1の入力信号光に基きクロックパルスが発生する。ここでは、信号光の波長及び速度（ビットレート）はそれぞれ λ_s 及び f_s であり、クロックパルスの波長及び周波数はそれぞれ λ_c 及び f_c である。発生したクロックパルスは図示しないタイミング調節器でタイミングを調節されて本発明による装置28に供給される。

【0088】本発明による装置28は、供給された信号光及びクロックパルスに基き波形整形を行い、再生信号光を出力する。再生信号光の波長及び速度はそれぞれ λ_c 及び f_s である。

【0089】このように、本実施形態によると、再生されたクロックパルスを用いて波形整形を行っているので、タイミングも含めて光レベルでの信号再生が可能になる。従って、この実施形態によると、全光3R信号再生装置の提供が可能になる。

【0090】図11に示される実施形態において本発明による装置28は、速度 f_s の信号と周波数 f_c のクロッ

クパルスとのAND回路として機能している。クロックパルスの周波数を信号速度の分周倍（例えば信号速度が160Gb/sである場合10GHz）に設定することによって、OTDM（光時分割多重）信号のデマルチプレクシング等の動作を行うことができる。

【0091】クロック再生器26としては、信号光に含まれる周波数成分を感知し（引き込み）、ここから基準周波数のクロックパルスを発生させるモードロックレーザを用いることができる。或いは、波長 λ_s 、速度 f_s の信号光を波長 λ_c で連続発振しているレーザに入力し、このレーザ内の光変調器を信号光でAM変調又はFM変調する。そして、この変調周波数がレーザの共振周期に対応するようにレーザの光路長を調節することによって、波長 λ_c 、周波数 f_s のクロックパルスを発生することができる。

【0092】図16を参照すると、図10に示される実施形態の応用例が示されている。ここでは、図10に示される本発明による装置（例えば光ANDゲート）28の後段に波形整形器30を設けて波形整形し、必要に応じて再生信号光の波長 λ_c を λ_c' に変換して、波形整形信号光として出力するようにしている。

【0093】図17は図16に示される波形整形器30の実施形態を示すブロック図である。再生信号光（図16参照）による波長 λ_c の入力パルスを光増幅器32により増幅した後に非線形光学媒質としての光ファイバ（分散 β_2 ）34に入力して、チャープを生じさせる。このとき、パルスの振幅雑音のうち、ゼロレベル付近の雑音はチャープが小さいためもとの波長付近に集まり、一方、パルスピーク付近の雑音はチャープが大きいので広がったスペクトルの最も外側の波長付近に集中する。

【0094】従って、雑音の少ない中間領域の波長付近の成分を光帯域通過フィルタ（BPF）36で抽出して出力パルスを得ることによって、光2R再生の効果をさらに高めることが可能である。

【0095】出力パルスの形状は光帯域通過フィルタ36の透過帯域によって決まるため、その帯域特性を最適に設計することにより、所望の光信号パルス形状を得ることができる。更に、チャープが特別に大きい所謂スーパーコンティニューム（SC）を用いることにより、出力パルスを広い波長域にわたって波長変換することができる。これら光チャープを用いた波形整形の方法等の付加的な詳細については、特願2000-34454、特願2000-264757等々に示されている。

【0096】このように、本発明の実施形態によると、波長変換の無い（ $\lambda_c = \lambda_c'$ ）光2R及び／又は3R再生が可能になる。

【0097】尚、図16及び17で説明した実施形態では、チャープ媒質を含む波形整形器30を本発明による装置28の後段に設けているが、前段に設けて予め雑音

除去を行ってから光2R及び／又は3R再生を実施してもよい。更に、この方法は本発明による装置に限らず、光ゲートを用いた種々の光信号再生に適用可能である。

【0098】図12はクロック再生器の実施形態を示すブロック図である。このクロック再生器は、入力ポート78及び出力ポート80間に設けられる光バス82と、光バス82に光学的に結合される（例えば方向性結合される）光ループ83を含む能動リングレーザ84とを備えている。

10 【0099】入力ポート78には波長 λ_s 、速度 f_s の信号光が供給される。能動リングレーザ84は、光ループ83でレーザ発振が生じるように光ループ83の損失を補償する光増幅器86と、速度（又は周波数） f_s が光ループ83の周回周期の逆数の整数倍になるように光ループ83の光路長を調節する調節器88と、信号光に基きレーザ発振をモードロックするための光変調器（又は非線形光学媒質）90とを含む。能動リングレーザ84はレーザ発振の波長 λ_c を含む通過帯域を有する光帯域通過フィルタ92を更に含んでも良い。

20 【0100】この構成によると、能動リングレーザ84のレーザ発振がモードロックされる結果、波長 λ_c 、周波数 f_s のクロックパルスが発生し、そのクロックパルスが出力ポート80から出力される。従って、光／電気変換を行なうことなくクロックパルスを得ることができ、信号光の速度やパルス形状等に依存しない全光クロック再生器の提供が可能になる。

30 【0101】光変調器90としては、LiNbO₃強度変調器やEA（電界吸収）型変調器等の電気／光変調器を用いることができるほか、二次若しくは三次の非線形光学効果或いは相互利得変調等によるものを用いることができる。例えば、光ファイバ内の四光波混合を用いる場合であれば、信号光の波長 λ_s をファイバの零分散波長付近の波長に設定して連続発振光に効果的にAM変調をかけ、これによりクロックパルスを発生可能である。一方、半導体光アンプ（SOA）を用いる場合には、信号光をポンプ光として用いることができる。更に、発振状態のDFB-LD内の四光波混合を用いる場合には、信号光の波長をDFB-LDの発振光とは異なる波長に設定し、この信号光を比較的高いパワーで入力することにより利得飽和を起こし、これにより四光波混合の効率に変調をかけると共に、相互利得変調（XGM）効果により連続発振光に有効にAM変調をかけることができる。XGMについては、SOA内の四光波混合を用いる場合にも発生するので、これを積極的に用いても良い。

40 【0102】また、2次の非線形光学効果の場合にも、信号光をポンプ光として用いれば、ほぼ同じ効果を得ることができる。一方、相互位相変調（XPM）を用いる場合には、例えば位相変調による偏波状態の変動を用いてAM変調を発生させることができる。

50 【0103】図11に示される装置は、伝送路の途中に

設けられる全光2R再生中継器若しくは3R再生中継器として、或いは受信側に置いて受信感度を高めるために使用することができる。いずれにしても、中継光アンプ或いは光プリアンプと組み合わせることによって、高品質な伝送が可能になる。また、光ファイバ伝送路の分散や非線形光学効果により波形が歪む場合には分散補償器や非線形補償器（例えば位相共役器）を用いて波形を補償した後に、波形整形或いは雑音除去を行うことが有効である。

【0104】図13は本発明によるシステムの第3実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、WDMが具体的に適用されている点で特徴付けられる。光ゲート装置110としては本発明による装置を用いることができ、光ゲート装置110には、プローブ光源112から出力されたプローブ光Eprobeが供給されている。

【0105】光ファイバ伝送路62の入力端は光マルチプレクサ113に接続されている。光マルチプレクサ113には、光送信機114（#1, ..., #4）から出力された4チャンネルの光信号Es1, ..., Es4がそれぞれ光遅延回路116（#1, ..., #4）により時間軸上の位置を調節された後に供給されている。

【0106】光信号Es1, ..., Es4の波長はそれぞれ λ_{s1} , ..., λ_{s4} であり、互いに異なる。光信号Es1, ..., Es4はデータの繰り返し時間Tに比べて十分短い時間幅を有する短パルスによる強度変調により得られている。これらの光信号は、光遅延回路116（#1, ..., #4）により順にT/4の時間だけシフトさせられる。従って、光マルチプレクサ113から出力される信号光は、時間軸上で一致しない波長分割多重信号となる。

【0107】このような波長分割多重信号が光ゲート装置110に供給されると、4チャンネルの波長全てがプローブ光の波長 λ_{probe} に変換されるので、光ゲート装置110から光ファイバ伝送路64に出力される変換信号光Ecは、光時分割多重信号（OTDM信号）となる。

【0108】このように、図13に示されるシステムによると、波長分割多重信号を時分割多重信号に変換することができる（WDM/OTDM変換）。

【0109】ここでは、4チャンネルの波長分割多重信号を例示しているが、チャンネル数は4には限定されない。例えば、N（Nは1より大きい整数）チャンネルの波長分割多重信号が用いられている場合には、Nチャンネルの光時分割多重信号が得られる。この場合、N台の光遅延回路が用いられ、これらにおける時間シフトはT/Nに設定される。

【0110】図13の実施形態では、WDM信号光（波長分割多重信号）を構成している複数の光信号のタイミングを変化させるために複数の光遅延回路を用いているので、これを光中継器に適用する場合に光中継器の構成

が複雑になる。この点を改良した実施形態を以下に説明する。

【0111】図14は本発明によるシステムの第3実施形態を示すブロック図である。ここでは、1台の光遅延回路118を用いてWDM信号光の複数の光信号を一括して順次遅延させた後に、光ファイバ伝送路62を介して光ゲート装置110に入力している。光遅延回路118としては、波長分散を与える光学媒質を用いることができる。例えば、光ファイバ等の光学媒質においては、波長に対して分散がほぼ直線状に変化するので、これを用いることによって、複数の光遅延回路の遅延時間を調節する場合のようにほぼ線形な遅延を複数の光信号に与えることができる。

【0112】このように、図14に示されるシステムにおいては1台の光遅延回路を用いて複数の光信号に一括して遅延を与えるようにしているので、装置の構成を簡単にしてシステムの信頼性を高めることができる。

【0113】本発明は以下の付記を含むものである。

【0114】（付記1） 方向性結合される第1及び第2の光路を含む第1の光カプラと、異なる特性を有し前記第1及び第2の光路を接続する第1及び第2のファイバを含むループ光路と、前記ループ光路に方向性結合される第3の光路を含む第2の光カプラとを備えた非線形光ループミラーを提供するステップと、前記第1及び第3の光路からそれぞれプローブ光及び入力信号光を供給して前記第2の光路から出力信号光を出力するステップとを備えた方法。

【0115】（付記2） 前記特性は分散または分散傾斜である付記1記載の方法。

【0116】（付記3） 前記特性は零分散波長である付記1記載の方法。

【0117】（付記4） 前記第1及び第2のファイバ内での相互位相変調による位相シフトの総量がほぼ π である付記1記載の方法。

【0118】（付記5） 前記入力信号光及び前記プローブ光の波長付近における前記第1及び第2のファイバの分散の符号が逆であり且つ絶対値がほぼ同じである付記1記載の方法。

【0119】（付記6） 前記入力信号光の波長付近における前記第1及び第2のファイバの分散の符号が逆であり且つ絶対値がほぼ同じである付記1記載の方法。

【0120】（付記7） 前記第1及び第2のファイバの各々は分散フラットファイバである付記1記載の方法。

【0121】（付記8） 前記第1及び第2のファイバの各々は前記入力信号光及び前記プローブ光の波長付近に零分散波長を有するフォトニック結晶ファイバである付記1記載の方法。

【0122】（付記9） 前記入力信号光は異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重して得られたWD

M信号光である付記1記載の方法。

【0123】(付記10) 前記入力信号光はパルス光であり、前記出力信号光は前記入力信号光に同期しており、前記出力信号光の波長は前記プローブ光の波長に一致する付記1記載の方法。

【0124】(付記11) 方向性結合される第1及び第2の光路を含む第1の光カプラと、異なる特性を有し前記第1及び第2の光路を接続する第1及び第2のファイバを含むループ光路と、前記ループ光路に方向性結合される第3の光路を含む第2の光カプラとを備え、前記第1及び第3の光路からそれぞれプローブ光及び入力信号光が供給されて、前記第2の光路から出力信号光が出力される装置。

【0125】(付記12) 前記特性は分散または分散傾斜である付記11記載の装置。

【0126】(付記13) 前記特性は零分散波長である付記11記載の装置。

【0127】(付記14) 前記第1及び第2のファイバ内での相互位相変調による位相シフトの総量がほぼ π である付記11記載の装置。

【0128】(付記15) 前記入力信号光及び前記プローブ光の波長付近における前記第1及び第2のファイバの分散の符号が逆であり且つ絶対値がほぼ同じである付記11記載の装置。

【0129】(付記16) 前記入力信号光の波長付近における前記第1及び第2のファイバの分散の符号が逆であり且つ絶対値がほぼ同じである付記11記載の装置。

【0130】(付記17) 前記第1及び第2のファイバの各々は分散フラットファイバである付記11記載の装置。

【0131】(付記18) 前記第1及び第2のファイバの各々は前記入力信号光及び前記プローブ光の波長付近に零分散波長を有するフォトニック結晶ファイバである付記11記載の装置。

【0132】(付記19) 前記入力信号光は異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重して得られたWDM信号光である付記11記載の装置。

【0133】(付記20) 前記入力信号光はパルス光であり、前記出力信号光は前記入力信号光に同期しており、前記出力信号光の波長は前記プローブ光の波長に一致する付記11記載の装置。

【0134】(付記21) 信号光を伝搬させる第1の光ファイバ伝送路と、前記第1の光ファイバ伝送路に接続され前記信号光を変換光に変換する非線形光ループミラーと、前記非線形光ループミラーに接続され前記変換光を伝搬させる第2の光ファイバ伝送路とを備えたシステムであって、上記非線形光ループミラーは、方向性結合される第1及び第2の光路を含む第1の光カプラと、異なる特性を有し前記第1及び第2の光路を接続する第

1及び第2のファイバを含むループ光路と、前記ループ光路に方向性結合される第3の光路を含む第2の光カプラとを備えており、前記第1及び第3の光路からそれぞれプローブ光及び前記信号光が供給されて、前記第2の光路から前記変換光が出力されるシステム。

【0135】(付記22) 前記信号光は異なる波長を有する複数の光信号を波長分割多重して得られたWDM信号光である付記21記載のシステム。

【0136】(付記23) 前記入力信号光及び前記出力信号光の少なくとも一方を非線形光学媒質に供給してチャープを発生させるステップと、前記チャープにより広がったスペクトルから中心波長と異なる成分を抽出するステップとを更に備えた付記1記載の方法。

【0137】(付記24) 前記抽出するステップで抽出された光の波長が前記入力信号光の波長に一致するように設定された透過帯域を有する光帯域通過フィルタを提供するステップを更に備えた付記23記載の方法。

【0138】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、十分な2R及び／又は3R機能を得ることができる波形整形のための方法、装置及びシステムを提供することが可能になるという効果が生じる。また、本発明によると、WDMに適した波形整形のための方法、装置及びシステムの提供が可能になるという効果もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明に適用可能なNOLM（非線形光ループミラー）の構成を示す図である。

【図2】図2は位相差 $\Delta\phi$ に対するNOLMの出力特性を示すグラフである。

【図3】図3はNOLMにおける位相整合の説明図である。

【図4】図4の(A)及び(B)は信号パルス及びプローブパルスの波長の配置例を説明するための図である。

【図5】図5は本発明による装置の第1実施形態を示す図である。

【図6】図6の(A)及び(B)は信号パルス及びプローブパルスの波長の配置例を説明するための図である。

【図7】図7の(A)及び(B)は信号パルス及びプローブパルスの波長の他の配置例を説明するための図である。

【図8】図8は信号パルス及びプローブパルスの波長の更に他の配置例を説明するための図である。

【図9】図9は本発明による装置の第2実施形態を示す図である。

【図10】図10は本発明によるシステムの第1実施形態を示すブロック図である。

【図11】図11は本発明によるシステムの第2実施形態を示すブロック図である。

【図12】図12はクロック再生器の実施形態を示すブロック図である。

【図13】図13は本発明によるシステムの第3実施形態を示すブロック図である。

【図14】図14は本発明によるシステムの第4実施形態を示すブロック図である。

【図15】図15は符号が異なる大きな分散を交互に配置した例を説明するための図である。

【図16】図16は図11に示される実施形態の応用例を示すブロック図である。

【図17】図17は図16に示される波形整形器の実施

形態を示すブロック図である。

【符号の説明】

2 第1の光路

4 第2の光路

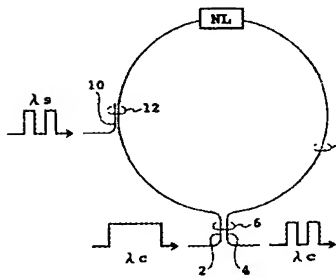
6 第1の光カプラ

8 ループ光路

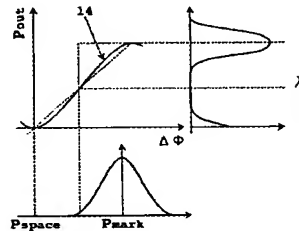
10 第3の光路

12 第2の光カプラ

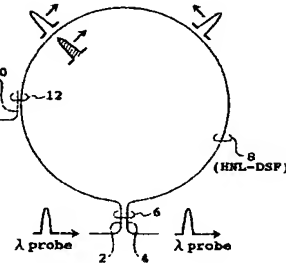
【図1】



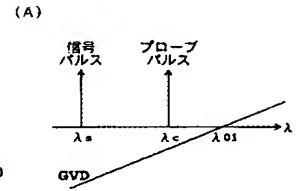
【図2】



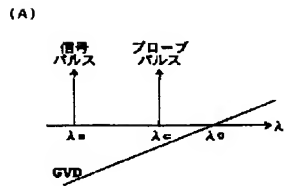
【図3】



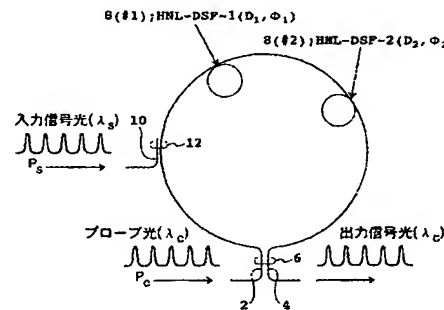
【図6】



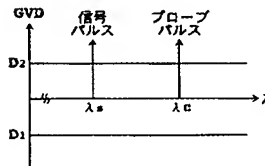
【図4】



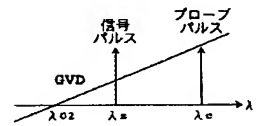
【図5】



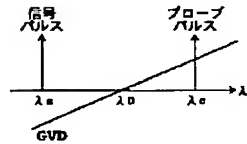
【図8】



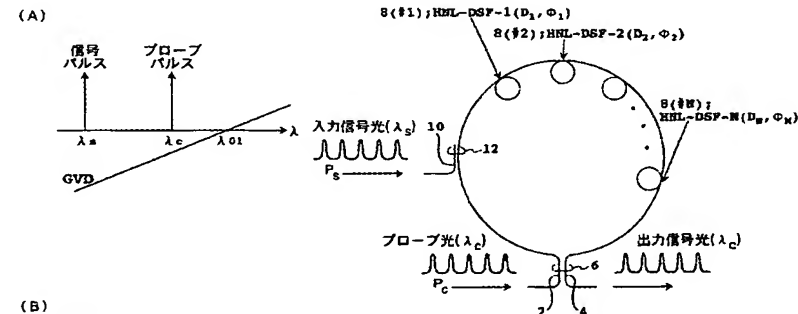
(B)



(B)

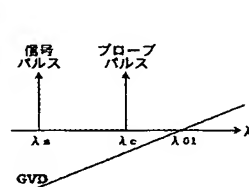


【図7】

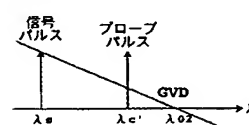


【図9】

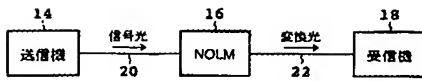
(A)



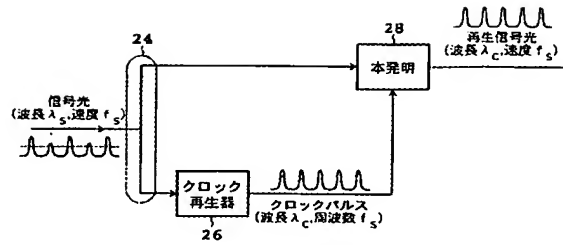
(B)



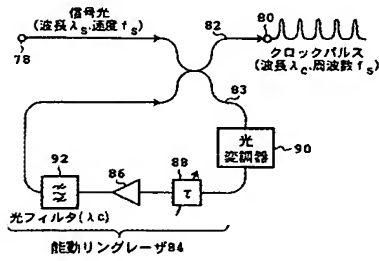
【図10】



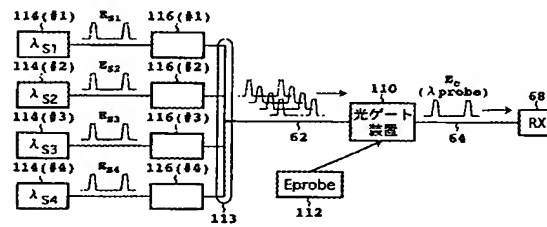
【図11】



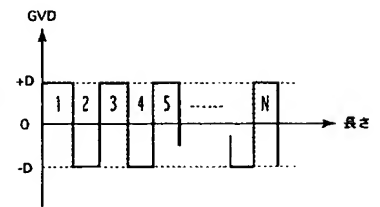
【図12】



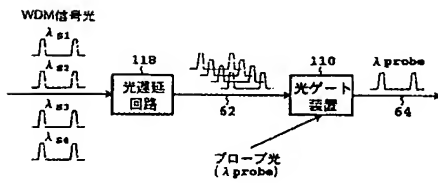
【図13】



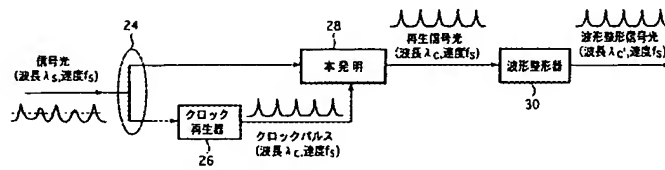
【図15】



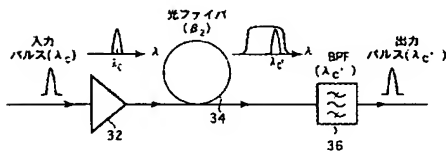
【図14】



【図16】



【図17】



THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)